

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2003-505867

(P2003-505867A)

(43) 公表日 平成15年2月12日 (2003.2.12)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード (参考)
H 0 1 L 21/3065		C 2 3 F 4/00	A 4 K 0 5 7
C 2 3 F 4/00		G 2 1 K 5/04	A 5 C 0 3 4
G 2 1 K 5/04		H 0 1 J 37/305	A 5 F 0 0 4
H 0 1 J 37/305		H 0 1 L 21/302	L

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 37 頁)

(21) 出願番号 特願2001-511710(P2001-511710)  
 (86) (22) 出願日 平成12年7月14日 (2000.7.14)  
 (85) 翻訳文提出日 平成14年1月17日 (2002.1.17)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US 00/19249  
 (87) 国際公開番号 WO 01/006538  
 (87) 国際公開日 平成13年1月25日 (2001.1.25)  
 (31) 優先権主張番号 60/144, 524  
 (32) 優先日 平成11年7月19日 (1999.7.19)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 09/412, 949  
 (32) 優先日 平成11年10月5日 (1999.10.5)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

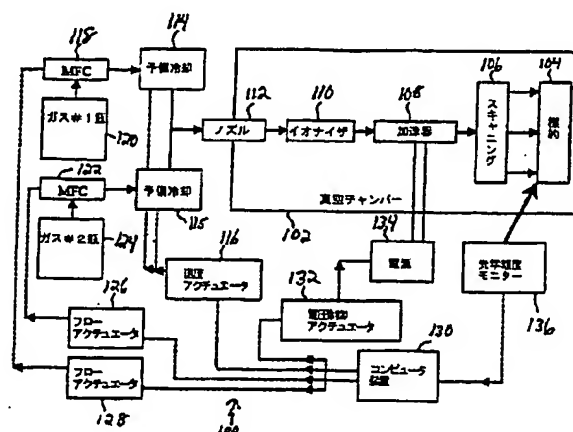
(71) 出願人 エピオン コーポレイション  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 ビ  
 ルリカ マニング ロード 37  
 (72) 発明者 フェナー, デイビッド, ビー.  
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州  
 01886 ウェストフォード ストニー ブ  
 ルック ロード 35エイ  
 (74) 代理人 弁理士 廣江 武典

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面平滑加工用適応GCIB

## (57) 【要約】

表面粗度の低下性能を改善させるために固体対象物体の表面の処理時にイオンビームの物性を適応させるGCIBを利用した方法と装置とが開示されている。本願発明は所定の深度にまでエッチングして表面汚染物を除去するエッチングと組み合わせた表面平滑性能を提供する。本願発明の利点は、処理時間が短いことと、仕上がり表面の残留粗度が小さいことと、望む表面平滑性を得るために除去する表面材料の量を減少させることである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 対象物体表面の処理中にガスクラスタイオンビームを活用する方法であって、

該イオンビームに関連するパラメータと特徴とをセットするステップと、

前記対象物体表面を該イオンビームに対して露出するステップと、

前記対象表面の処理中に操作条件に対応して前記パラメータと特徴とを適応させるステップと、

を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項2】 対象物体表面の処理は該表面のクリーニングを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】 対象物体表面の処理は該表面の平滑化を含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項4】 対象物体表面の処理は該表面のエッチングを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項5】 イオンビームのパラメータと特徴との適応ステップは該イオンビームのイオン加速ポテンシャルの調整を含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項6】 イオンビームのパラメータと特徴との適応ステップは該イオンビームのイオンビーム電流の調整を含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項7】 イオンビームのパラメータと特徴との適応ステップは該イオンビームの複数のイオン化されたクラスタの調整を含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項8】 イオンビームのパラメータと特徴との適応ステップは該イオンビームのクラスタサイズ分布を変更するためのガス源圧力または温度の調整を含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項9】 イオンビームのパラメータと特徴との適応ステップは該イオンビームのビームガス源の組成の調整を含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項10】 ビームガス源はアルゴン、酸素、窒素、六弗化硫黄、酸化窒素及び二酸化炭素並びにそれらの選択的混合物または水素及びヘリウム等の他のガスとの混合物を選択的に含んでいることを特徴とする請求項9記載の方法。

【請求項11】 イオンビームのパラメータと特徴とは、アルゴンガスに500個から5000個の原子数の基本サイズを有した幅広いクラスタサイズ分布のビームを形成させ、対象物体表面のエッチング処理のための当初ビーム加速電圧が15000Vを超えるようにすることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項12】 適応ステップはビーム加速電圧を5000Vまでの低い電圧に低下させるステップを含んでいることを特徴とする請求項11記載の方法。

【請求項13】 ビーム加速電圧は当初は30000Vから50000Vであり、処理中に5000Vから7000Vに低下されることを特徴とする請求項12記載の方法。

【請求項14】 イオンビームのパラメータと特徴とは、所定のエッチングしきい値以下であって該しきい値の半分以上である電圧にて、対象物体表面から汚染物質を除去するのに十分な時間をかけてイオンビームを加速させるものであることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項15】 適応ステップは対象物体表面のエッチング処理のためにしきい値以上で15000V以上の加速電圧にてイオンビームを調整し、続いて5000Vを下回らない電圧に低下させるステップを含んでいることを特徴とする請求項14記載の方法。

【請求項16】 イオンビームのパラメータと特徴とは、アルゴンガスでイオンビームを形成させ、7000Vから30000Vの範囲で選択された固定電圧にて該イオンビームを加速させ、該イオンビームに100個から1000個の原子数の基本サイズの幅広いクラスタサイズ分布を提供し、対象物体表面をエッチングさせるものであることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項17】 適応ステップはクラスタサイズ分布を5000個から50000個の原子数の基本サイズに増加させることを特徴とする請求項16記載の方法。

【請求項18】 イオンビームのパラメータと特徴とは、対象物体表面のエッ

チング処理のためにアルゴンガスを使用し、500個から5000個の原子数の基本サイズを有した幅広いクラスタサイズ分布で、ビーム電流密度が $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を下回らない高当初値のイオンビームを形成させるものであることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項19】 適応ステップはビーム電流密度を $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を超えない低電流値に低下させるステップを含んでいることを特徴とする請求項18記載の方法。

【請求項20】 イオンビームのパラメータと特徴とは、該イオンビームを当初はイオンビームガス源の凍結点と比較して相対的に低温であるクラスタで提供するものであることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項21】 適応ステップはクラスタの温度を、最終温度がビームガス源の凝縮液化温度を超えないように上昇させるステップを含んでいることを特徴とする請求項20記載の方法。

【請求項22】 イオンビームのパラメータと特徴とは、酸素、ハロゲンまたはハロゲン含有化合物をアルゴンガスと混合させて該イオンビームを形成させ、当初においては、2物質以上で成る対象表面と適応するエッチング速度とするようにエッチング処理に利用されることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項23】 適応ステップは、対象物体表面を平坦で平滑とするエッチング処理が進行中にガス混合物内の酸素またはハロゲンの含有割合を徐々に低下させるようにイオンビームを調整するステップを含んでいることを特徴とする請求項22記載の方法。

【請求項24】 適応ステップは対象表面のエッチング処理中に、複数のガス構成物質、クラスタサイズ、加速ポテンシャルまたはビーム電流を調整するステップを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項25】 適応性ガスクラスタイオンビームを利用して対象物体表面を処理する装置であって、当初は高速であるイオンビームをエッチング処理中に低速に変更し、処理終了時における前記対象物体表面の残留粗度を低下させることを特徴とする装置。

【請求項26】 対象物体表面はエッチング処理に先立って当初に汚染物除去

処理されることを特徴とする請求項25記載の装置。

【請求項27】 対象物体表面へのイオンビームの照射時間と条件とを予め決定しておく手段と、エッチング速度を当初の高速から、前記対象物体表面の残留粗度を低下させる低速に移行させる手段とをさらに含んでいることを特徴とする請求項25記載の装置。

【請求項28】 イオンビームの変更を実施させるために対象物体表面のエッチング速度または表面粗度を測定するモニターをさらに含んでおり、該対象物体表面に望むエッチング深度と平滑性とを提供することを特徴とする請求項25記載の装置。

【請求項29】 当初は高電圧で高速エッチング性能を具えたイオンビームを、最終的には低電圧で低速エッチング性能を具えたイオンビームとして対象物体表面の残留粗度を低下させる適応処理を提供する電圧値に従って種々なイオンビーム加速電圧を発生させる電源をさらに含んでおり、該電圧値は、予め決定した時間設定での照射に対応し、またはイオンビーム照射時の前記対象物体表面の直接的なモニター計測による該対象物体表面の表面特性に従って決定されていることを特徴とする請求項25記載の装置。

【請求項30】 当初の低クラスタ温度の高速エッチング性能のものから、望む表面エッチング深度と残留表面粗度とを提供するようにイオンビームを相対的に高温に変更させる値に従って、前記イオンビームが対象物体表面に照射される過程で変更される温度を有したクラスタにより該イオンビームを形成させる手段をさらに含んでおり、前記値は、予め決定した時間設定の照射スケジュールに従い、またはイオンビーム照射時の前記対象物体表面の直接的なモニター計測による該対象物体表面の表面特性に従って決定されていることを特徴とする請求項25記載の装置。

【請求項31】 当初には高速エッチング性能を有しているイオンビームを、最終的には望む表面エッチング深度と残留表面粗度とを提供させる値に従ってイオンビームの対象物体表面への照射時に含有割合が変更されるガス混合物を含んだクラスタにより形成させる手段をさらに含んでおり、該値は、予め決定した時間設定の照射スケジュールに従い、またはイオンビーム照射時の前記対象物体表

面の直接的なモニター計測による該対象物体表面の表面特性に従って決定されていることを特徴とする請求項25記載の装置。

【請求項32】 複数の表面構成物質で成る対象物体を最小のエッチング速度の相違でエッチング処理し、対象物体表面を物質の相違に関わらず平滑にさせる値に従ってイオンビームを、該イオンビームが該対象物体表面に照射される過程で変動する組成のガス混合物を有したクラスタで形成させる手段をさらに含んでおり、該値は、予め決定した時間設定の照射スケジュールに従い、またはイオンビーム照射時の前記対象物体表面の直接的なモニター計測による該対象物体表面の表面特性に従って決定されていることを特徴とする請求項25記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本願発明は表面の気体クラスティオンビーム (GCIB: gas cluster ion beam) 平滑加工 (smoothing of surfaces) 分野に関する。

## 【0002】

本願は1999年7月19日出願の米国仮特許願第60/144524号と1999年10月5日出願の米国特許願第09/412949号の優先権を主張する。

## 【0003】

## 【従来の技術と発明が解決しようとする課題】

半導体、誘電体及び金属（基板上の薄フィルムを含む）等の微小電子物体 (microelectronic materials) は蒸着加工、結晶成長加工、エッチング処理等々による加工後に平滑化が必要である。多層体あるいは相互作用/相互接続サブコンポーネントとしての微小電子コンポーネントの高密度アレンジには高品質の表面処理が要求される。

## 【0004】

平滑化方法は機械的平滑化処理と化学的平滑化処理の2つに大きく分類される。これらは湿潤環境または真空チャンバー環境内で実施される。イオンビームは伝統的なラッピング（浸潤処理）、グラインディング、サンディング、酸/塩基エッチング加工等よりもいくつかの重要な点で勝る。特に、イオンビーム装置の真空環境は湿潤または空気環境での方法では達成できない処理対象表面（標的表面）の汚染物制御を提供する。イオンビームは標的表面に対して（乾燥）エッチング処理すなわちスパッタリング処理を行い、対象表面の当初の粗さ（粗度）を減少させる。

## 【0005】

表面が材料の原子寸法にまで表面の平滑性が達成されると、イオンビーム平滑化性能はその本質的限界に達する。すなわち平滑性の漸近値に達する。この粗度の限界は固体表面とイオンとの本質的な相互作用の性質によって決定される。残

念ながら、従来のイオンビームエッチング法による表面粗度の限界は次世代の微小電子物質及び光子物質に対する必要性を満たすことができない。

【0006】

対象表面のイオンビーム処理に関わる専門家は、それぞれ100個から10000個の原子で硬性される気体（ガス）原子クラスタで成るビームは単独でイオン化が可能であり、加速できて対象表面との衝突によって多様な物質の表面を滑らかにすることを認めている。これはG C I B法によるエッチング処理と平滑化処理である。この方法の効率は望む程度にまで表面の粗度を減少させるのに要するイオン照射量の上限によって制約を受ける。イオンクラスタビームは様々な気体により提供が可能である。それぞれの気体は独自のエッチング能力と平滑化能力を具えている。アルゴン等の貴ガスイオンビームは物理的に物質表面と相互作用（スパッタエッチング）し、酸素等の他のガスのビームは物理的及び化学（反応）的に物体表面と相互作用する。

【0007】

化学的イオンエッチング処理は一般的に他の方法よりも迅速なエッチングを提供するが、対象表面の物質の種類に左右される。対象物質の種類にさほど影響を受けない機械的イオンエッチング処理は低残留粗度の表面を提供する。すなわち、随意の長時間露出（多照射量イオン処理）後には表面の粗度が低くなる。大型クラスタは最高級の仕上げ面を提供するが、G C I B装置における大型クラスタの形成は非効率である。

【0008】

さらに高いエネルギーのビームはさらに高い加速ポテンシャル(accelerating potential)の使用の結果であり、さらに迅速にエッチング処理を行うが、同じクラスタサイズまたはサイズ配分では仕上げ面の残留粗度が高くなる。さらに高い残留粗度は（浅い）着床現象とイオンミクシング効果によるものであり、イオンビームは（浅い）表面領域の材料のみをエッチング処理する。さらに高いビーム（電）流（対象表面に照射されるクラスタ束）もさらに迅速なエッチングを提供するものの、表面エッチングの物理的現象及び確率的現象の非線形現象（非比例現象）の結果としてビーム電流の低減を招き、残留粗度を高くする。



## 【0009】

## 【課題を解決するための手段】

本願発明は固体対象物体の表面処理時にG C I Bを利用してイオンビームの特性を適応させ、表面粗度の減少程度を向上させる方法並びに装置を提供する。加えて、本願発明は所定の深度に対象表面をエッチングし、表面汚染物を除去する技術と組み合わせた表面平滑処理を提供する。本願発明の利点は処理時間が短いことと、仕上げ表面の優れた平滑性と、望む平滑度を得るために除去が必要な表面物質の除去量を減少させることである。

## 【0010】

## 【発明の実施の形態】

G C I Bを利用した微小電子部材適用部位表面の平滑処理のための最良仕上げ面は低加速電圧と弱ビーム電流でのアルゴンビームにより達成できる。この最良表面を得るのに要する時間は別種のビーム選択が為される場合にはずっと長くなる。本願発明はG C I Bのハイブリッド処理あるいは適応処理を利用する。例えば、当初のG C I B平滑処理は高エネルギー（高加速）ビームを使用して粗度が高い当初標的表面を可能な限り迅速に除去（エッチング）することで達成される。このエッチング処理最中に対象表面の粗度がそのビームエネルギーに対する残留粗度限界に接近するに従い、G C I B装置を微調整してビームを低エネルギーとし、エッチング処理を新たな低残留粗度限界に達するまで継続させる。

## 【0011】

図1は本願発明の適応クラスタービーム平滑化装置の概略ブロック図である。ガス流路とクラスタービームとは実線で示されており、制御通路は破線で示されている。それぞれの矢印はガス流方向、クラスター方向あるいは情報方向を示す。真空システムはそれぞれのポンプ（図示せず）を具えた複数のチャンバー（部屋）に分割されている。表面粗度の検査のための光通路は太線と矢印で示されている。

## 【0012】

図1の装置100はガスクラスターイオンビームを発生させるための真空構造体102を含んでいる。第1ガス、例えばアルゴンはガス瓶120内に高圧で保存されている。そのガスは物質流コントローラ（MFC: mass-flow controller）

118を介して提供される。MFC118は隔膜レギュレータ(diaphragm)と流体測定センサー及びそのレギュレータへ流体情報をフィードバックする手段で構成されている。これは典型的には電子装置であり、システムオペレータやインストラクションプランに従って作動するコンピュータによって調整できる。このガスは次に予備冷却装置114に送られる。この予備冷却装置は熱交換装置を含んでいる。この熱交換装置は極低温手段、例えば液体窒素を循環させる手段や、閉鎖回路(再循環)冷蔵システムで冷却される。少なくとも1種の追加ガスをガス瓶120からのガスと混合することができる。ガス瓶124からの第2ガスはガス瓶120からのガスとの混合に先立ってMFC122と予備冷却装置115を通過するであろう。このガスは典型的には約10気圧で小径管を介してノズル112へと送られる。

#### 【0013】

ノズル112は典型的には50から100 $\mu\text{m}$ の直径を有しており、約10°の立体角を具えた錐形排出口を有している。好適には、ノズルの錐形排出口の形状はラバル(Laval)ノズルの形状である。このガスは超音速ジェット流を形成し、ノズルを通過して構造体102の第1真空チャンバー(室)内に膨張進入することで断熱的に冷却される。もしガス密度が排出口への提供時に十分にゆっくりと低下するなら、冷却されて過飽和状態の蒸気が滴核となって凝集することで小液滴に成長し、それぞれ数千個のガス原子またはガス分子で構成される大型クラスタに成長する十分な時間が提供される。このクラスタと残留ガスのジェット流は第1真空チャンバー壁の小開口部と最大クラスタ密度を有したジェット流芯部で方向付けられ、第2真空チャンバー内に導入される。第1チャンバーは真空ポンプで約10から100mTorrの圧力に維持され、第2チャンバーは第2ポンプで10<sup>-4</sup>Torr以下に維持される。

#### 【0014】

第2チャンバーに入ったクラスタジェット流はイオン化装置110に導入され、典型的には100Vである低エネルギー電子ビームの陽極であるワイヤメッシュケージの芯部に導入される。これら電子はクラスタに衝突してクラスタから電子を放出させ、クラスタをイオン化させる(典型的には1正ユニット電荷)。イ

オン化されたクラスタは加速器108の第1電極要素によってイオン化装置110から抽出される。

【0015】

加速器の第2コンポーネントとして、抽出電極のものと較べて大きな負ポテンシャルまたは電圧を具えた電極が存在する。その電圧差は加速ポテンシャルである。加速器108の第3コンポーネントとして、収束レンズの役目を果たす、典型的には3体の電極セットが提供される。このレンズはクラスタイオンビームをビーム通路の所定の下流点で焦点させる。ビーム軸のその焦点に対象物体104がビームに垂直に配置される。ビーム近辺でビームと平行状態で、加速器108の最終電極と対象物体104との間に固定されたプレート体106のペアが提供される。これらプレート体はプレート体間の電圧差を利用してビームを静電的にスキャニングする。1プレート体ペアは偏向されると水平面でのビームの偏向を引き起こし、第2ペアを垂直面で偏向する。

【0016】

真空構造体102外部の電源134は真空チャンバー内でイオン化装置110、加速器108及びスキャナー106の電極に偏向(bias)電圧と電流を提供する。典型的には各電極に対して個別の電源セットが使用され、電圧制御アクチュエータ132によりそれぞれ個別に制御されるであろう。必要な電圧を分割するために抵抗格子ネットワークを具えた1体の電源のごとき単純な形態も利用が可能である。しかし、本願発明では好適には少なくとも1つの電極電圧を適応方法に従って個別に調整可能とする。複数の電源を利用する様々な中間構造を活用し、電氣的な利点を提供することができる。全ての電極を並列あるいは直列またはその組み合わせで接続された電源セットによって作動させることもできる。あるいは、抵抗デバイダーを介して作動される少なくとも2つの電極と共に接続することもできる。電源の一部は電子手段でセット電圧または電流に内部的に自動調整される。このセット値はアクチュエータ132によって提供され、好適には光ファイバーリレーと電子手段で伝達される。光リンクリレー(optical-link relay)は好適である。なぜなら接続形態によっては電源134の一部は接地部(ground)あるいはシステム共通ポテンシャルよりもずっと高い電圧で操作されるからであ

る。

【 0 0 1 7 】

制限時間内に予期される G C I B による加工の達成度を標的表面処理中にリアルタイムで表示するように対象物表面の検査とモニタリングを行うことが好ましい。本願発明はその手段を光学粗度モニター(optical roughness monitor)136で提供する。そこでは光学測定手法が利用される。この測定方法は有利である。なぜなら、加工用のクラスタビームが必要とする直角入射角から大きく離れた角度で機能することができ、その標的表面と非接触であり、加工を妨害せずに機能するからである。対象表面で分散したレーザー光ビームの強度測定値は表面粗度の有効な尺度である。非常に微小な粗度の測定には短波光、例えば紫外線を必要とするであろう。真空構造体102内へのアクセスは利用される波長で透明である物質で成る窓によって提供される。スキャンされた光の密度または他の光学的パラメータはモニター136内の光検出器で測定され、その電気出力は中央コンピュータ装置130に提供される。

【 0 0 1 8 】

モニター136からの信号情報を利用して中央コンピュータ装置130は論理的決定(logical determination)を行う。この論理的決定内容はデジタル信号あるいはアナログ信号にコード化され、信号接続(コンピュータ装置130から温度アクチュエータ116、流体アクチュエータ126、128及び電圧制御アクチュエータ132へ通じる破線)を介して種々なアクチュエータに搬送され、G C I B 装置のための制御ループ構造を提供する。流体アクチュエータ126、128はコンピュータ装置からの信号を物質流コントローラ118と122のそれぞれに対するセットポイントを調整する物理的な動作に変換する手段を提供する。温度アクチュエータ116はコンピュータ装置からの信号をガス予備冷却装置114と115のセットポイントを調整する動作に変換する手段を提供する。さらに、電圧制御アクチュエータ132は構造体134の全電源に対するセットポイントを電子的に調整する手段を提供する。

【 0 0 1 9 】

コンピュータ装置130はそれぞれの対象物の処理中にG C I B 装置を適応さ

せる論理決定に到達するために種々な手法を利用することができる。最も単純な手法は処理開始後に特定時間間隔で電圧変更を指示する時間チャートを利用することである。好適なアルゴリズムは、光学モニター136により提供される処理時情報と、図3の曲線形状の詳細な理論モデル（または近似モデル等々）との組み合わせを利用した数学計算を利用するものであろう。この数学計算は、指数関数的に漸近線に衰微した後の粗度の減少を示す図3の曲線300と302を利用する。

#### 【0020】

一般的に、(1)当初粗度、(2)衰微速度、及び(3)漸近値の3パラメータのみがそれぞれの曲線(300等)の特徴付けに必要である。固定操作条件下の装置のキャリブレーション処理で、それぞれの速度と漸近値が加速電圧、クラスタサイズ、ガスタイプ、予備冷却等のGCIBパラメータに対してどのように関わるかの詳細な知識が得られる。標的対象物のそれぞれの組成及びタイプに対して測定が必要であるこの情報を利用することで、最低表面粗度を残す最良仕上げ漸近値に到達する最速手法を提供するGCIB装置のユニークな調整または適応手順が提供されるであろう。本願発明の説明に供する1実施例では、コンピュータ装置130はそれぞれの対象物に対するエッチング速度と漸近値のパラメータから始めて、計算によって最速セットのGCIB処理パラメータの適応または手順を発見し、この手順を実行に移し、同時に処理モニター情報を利用してそれぞれの対象物に対する微調整を行う。

#### 【0021】

望む高表面品質をさらに迅速に提供するビームエネルギーを求めるためのさらに複雑な調整手法が望まれる。本願発明が提供するビームエネルギーは加工時に常時調整され、それぞれのエッチング段階で可能な最高速度で望む仕上げ面（標的物体のエッチング深度と表面粗度の両方）を常に提供する。

#### 【0022】

標的表面のそれぞれの構成物はビームによっては幾分異なる相互作用を発生させる。よって、処理の加工装置の経時的最良調整は平滑化処理されている対象物体材料のタイプによって異なる。例えば、柔軟な金箔はアルミナのごとき脆くて

硬質なセラミックとは原子レベルで異なるスパッタリングメカニズムのために G C I B のもとで幾分か異なる物理的イオンエッチング現象を引き起こす。本願発明はそれぞれの表面構成物及びそれぞれの当初表面粗度に対して G C I B を最良化させることができる方法と装置を提供する。

【 0 0 2 3 】

標的表面に対する G C I B 効果のさらなる特徴は表面汚染物の除去である。処理中の対象表面に対する“しきい値”以下の加速電圧では表面に衝突するクラスティオンは表面をあまりエッチング加工しないが、表面の汚染物を浮き上がらせて除去する。強力な固体物質同士の結合力と較べて汚染物の固体面に対する結合力は弱いため、表面を傷つけることなく汚染物を除去するようにイオンエネルギーを選択することは可能である。本願発明は操作条件に適応できる G C I B 装置を提供するが、まず対象表面をクリーニング処理し、続いてエッチング処理するように適応させることができる。この適応手順がそれぞれの対象物体に応用され、対象物体の仕上げ面を清浄にし、望む表面深度にまでエッチング処理し、可能な限り低粗度である表面を提供することが望ましい。

【 0 0 2 4 】

イオンエッチングを利用した従来の G C I B 平滑処理は本願発明の適応技術により改良が可能である。クラスティオンビームを使用すると、エッチング速度と対象物体残留粗度の安定状態レベルは多くの要因によって影響を受ける略独立パラメータとなる。G C I B 平滑化処理の実用性は、これら要因のパラメータ効果が理解されれば、適正な処理方法と装置の形態化によって大きく改善されるであろう。例えば、最良の平滑状態（最低の残留粗度）の提供に要する時間は、ビームが処理工程中に適応されるならさらに短くなるであろう。これは、サンドペーパーの粗度を段階的に変更しながら木材の表面を滑らかにする作業に類似している。別実用形態例としては、望む最終膜厚を得るために積層を徐々に薄くするように、可能な最大速度で対象表面から所定の厚さの材料をイオンビームエッチング処理することができる。望むエッチング深度の達成後に最終表面を可能な限り滑らかにすることには付加的な価値があろう。

【 0 0 2 5 】

表面材料（膜あるいは露出の場合には塊体）の各タイプ（化学組成及び構造）はそれぞれ独自のエッチング開始しきい値、エッチング速度及び安定状態残留粗度を有するであろう。図2はV番目 $< V1 < V2$ で示される様々な加速電圧に対するクラスティオンビームの概略エッチング速度を示す従来技術のグラフである。領域200においては標的表面は低エネルギービームで洗浄される。V番目とはさほど離れていない上方の領域202においては線形エッチング速度となる。領域203では高エネルギー（電圧）へ急激に上昇して増幅されたエッチング加工が発生するが、標的表面は平滑化されないであろう。

#### 【0026】

これらのエッチング特性はイオンビームと標的材料の独特な物性との相互作用の結果である。このイオンは原子でも分子でも、それらのクラスタであっても同じである。イオンビームの運動エネルギーに加えて、クラスタサイズ（構成原子数または分子数）及び標的表面に衝突するときのクラスタ凝縮状態は表面とのビーム相互作用に影響を及ぼす。入射クラスタの運動量は、クラスタのサイズとエネルギー、衝突による最大圧力と最大温度、クラスタの応力-ひずみ反応並びに塑性変形の程度、クラスタ破壊強度に対してクラスタ内で発生する音波強度、クラスタと表面の弾性変形の程度のごときクラスタと表面の物性により影響を受けるいくつかの形態で保たれる。すなわち、入射クラスタエネルギーは保存される。

#### 【0027】

純粋元素金属のモノマーイオンによるスパッタリングは、典型的にはそれら金属の純化熱にほぼ比例するしきい値イオンエネルギー以上のイオンのみをエッチングすることが確認されている。アルゴンクラスタによる金属のエッチング速度は、典型的には約5から7kVであるしきい値以上の加速電圧とほぼ線形的に増加することが報告されている。図2はこのしきい値と、そのしきい値以上の加速電圧で線状に増加するエッチング速度を示す。また、金箔はアルゴンクラスタビームからの追加照射量が堆積するのに従って表面粗度（平均粗度 $R_a$ または平方根平均平方粗度 $R_{rms}$ として測定）をますます低下させるようにエッチングされることも報告されている。この状況は図3に図示されており、 $R_a$ と $R_{rms}$ は可能

な最低値に指数関数的に接近する。

【 0 0 2 8 】

図 3 はクラスタイオンビームの一定加速電圧におけるクラスタ照射量での粗度低下の進行を示すグラフである。3 本のエッチング曲線が図示されており、1 曲線 3 0 0 は  $V_1$  で実行され、他方の曲線 3 0 2 は  $V_2$  で実行された ( $V_1 < V_2$ )。曲線 3 0 3 は高電圧  $V_3$  で実行され ( $V_3 > V_2$ )、表面は粗く処理される。これら曲線は本願発明の説明のために直線的に図示されているが実際には滑らかな曲線である。曲線 3 0 2 は  $V_2$  で最も急激に降下しているが、 $V_1$  で実行される曲線よりも高い  $R_a$  で漸近線を有している。後者は傾斜が緩やかであるが、照射量が多量になると最低の  $R_a$  を有する。

【 0 0 2 9 】

数学モデルがそのモデルを使用したクラスタエッチング処理のコンピュータシミュレーションと共に報告されている。シミュレーションされたエッチング処理は加速電圧あるいはエネルギーに影響を受け、エネルギーが増加するとエッチング速度が増大するが、エネルギー増加に伴って低下する漸近粗度を有する。本願発明はこのようなことは現実的なイオンエッチング処理条件では発生しないことを証明する。長時間にわたるイオンエッチング処理（多量照射）後に残る残留粗度は、対象物体表面に衝突するクラスタが表面内に浸透し、表面直下の物質をスパッタ放出させる程度に影響を受ける。これは図 3 において概略的に図示されている。低電圧 ( $V_1$ ;  $V_1 < V_2$ ) の漸近（多照射量）粗度 ( $R_a$  と  $R_{rms}$ ) はそれ自体さらに小さい。

【 0 0 3 0 】

原子、分子及びクラスタイオンの衝突とエッチングの従来方式による測定はイオンエネルギーが減少すると、そのエネルギーがエッチング処理に必要な最低またはしきい値に到達するまで浸透深度と活性が減少することを示す。対象物体表面下の入射イオン密度の測定深度特性はこの傾向を明瞭に示す。本願発明はクラスタエッチングにおいて、多照射量での漸近粗度をエッチングのしきい値を超えてすぐのエネルギーに加速されたクラスタイオンビームで最低とする。このしきい値エネルギーは各タイプの対象材料及び各構成物、クラスタビームの熱力学状



態並びに加速状態に対して実験的に決定できる。

【 0 0 3 1 】

本願発明に従った適応 G C I B エッチングプロセスは図 4 に図示されている。図 4 は本願発明の適応 G C I B 法によるクラスタ照射量の調整で表面粗度が進行的に減少する様子を示すグラフである。エッチングは一定の  $V_2$  のクラスタの曲線 4 0 0 で開始し、垂直矢印が示す照射量箇所で曲線 4 0 2 に乗り換える。両方の曲線 4 0 0 と 4 0 2 はドット曲線で交差した交差点前後で延びている。エッチングは一定値  $V_1$  ( $V_1 < V_2$ ) で曲線 4 0 2 に沿って継続される。組み合わされたエッチング曲線（実線のみ）が適応方法に関わるものである。 $V_1$  と  $V_2$  でのエッチングのための漸近値は水平破線で示されている。

【 0 0 3 2 】

エッチングは約 2 0 k V から 6 0 k V の大きな加速電圧  $V_2$  で開始され、比較的に迅速なエッチング速度を提供し、対象物への照射量は  $R_a$  または  $R_{rms}$  が大きく減少するまで堆積される。この加速電圧は約 5 k V から 7 k V である  $V_1$  に低下され（エッチング曲線の変形部として図示）、露出は十分な照射量が堆積して指数関数曲線が漸近値に十分に接近するまで継続する。1 本のエッチング曲線は 2 本の曲線の組み合わせとして示される。この 2 段階適応プロセスは、対象表面が粗いときには迅速な粗度減少を提供するが、高エネルギー値では望む漸近粗度が提供されないためにその後低電圧へと適応されることが重要なポイントである。本願発明の別適応方法として、複数適応段階で加速電圧を段階的、継続的に変更させることができる。こうすればエッチングの効率と表面処理の程度がさらに向上する。

【 0 0 3 3 】

適応 G C I B の 1 例として一連のシステム作動条件を公知のエッチングパラメータ及び望む最終エッチング深度並びに最大表面粗度に基づいて解説する。トヨタ他は“研究及び産業での加速器の適用”学会の機関誌（ダガン及びモーガン編集：米国協会、物理プレス、ニューヨーク、1 9 9 7 年）4 8 3 ページで「銅箔ウェハーのアルゴンクラスタイオンビームエッチング処理はしきい値が約（V 番目 =）6 0 0 0 V であり、V 番目を超えるクラスタ加速電圧 V に対して 1 次比例す

るスパッタリング産物(yield)Yは、

$Y = (4.2 \times 10^{-3}) (V - V_{\text{th}})$  (入射イオン当たりのスパッタリング原子単位)であることを報告した。このYからエッチング深度dは次の式で計算できる。

$$d = (DY) / \rho, \text{ (cm単位)}$$

Dはクラスティオン照射密度  $D = Jt/e$  Jはイオンビーム電流密度 ( $A/cm^2$ )、tは露出時間、eは元素電荷  $e = 1.6 \times 10^{-19}$  クーロン、 $\rho$ は固体の原子密度 (原子数/ $cm^3$ )

よって、

$$d = (4.2 \times 10^{-5}) (V - V_{\text{th}}) D / \rho, \text{ \AA単位}$$

例えば、固体銅中の原子密度は  $\rho = 8.5 \times 10^{23}$  原子数/ $cm^3$  である。もしこの例のイオンビームが  $J = 10 \mu A/cm^2$  と  $V = 27 kV$  であれば、 $t = 1$  秒の露出でエッチング深度は約  $d = 6.5 \text{ \AA}$  となる。あるいは、 $t = 1$  時間程度の露出で  $d = 2.3 \mu m$  となる。

#### 【0034】

ここで計算されたエッチング深度は理論的な2平面間の深度、あるいは2粗面間の平均深度である。言うまでもなく、測定値dは、上下表面の平均粗度Raが両方ともdよりもずっと小さい場合、すなわち、 $Ra \ll d$  の場合に統計的な意味を有する。クラスティオンが直角入射で表面に衝突すると表面粗度(Ra)を最も効率よく減少させることはGCIB処理の一般的な特徴である。ヤマダ他は“真空科学と技術”(第A14巻、781ページ、1996年)で粗度減少処理に関して研究報告した。Raの減少は照射密度Dで次のように指数関数的に発生することが報告されている。

$$Ra = (R_i - R_o) \exp(-D/\Delta) + R_o$$

$R_i$ は表面の当初粗度であり、 $R_o$ は随意の露出後に達成された漸近または限界粗度であり、 $\Delta$ は粗度減少のための指数関数的照射量特性である。(この指数関数は図3で曲線300と302として図示されている。)シリコンウェハー上に成層された銅箔に対して、20 kVの加速電圧のアルゴンクラスティオンビームは、量( $R_i - R_o$ )の  $1/e (= 37\%)$  に到達させるには約  $1 \times 10^{16}$  イオン数/ $cm$

<sup>1</sup>の照射量を必要として、当初粗度  $R_i = 58 \text{ \AA}$  のフィルムを  $R_o = 12 \text{ \AA}$  まで平滑化させると報告された。よって、 $\Delta = 1 \times 10^{11}$  イオン数/ $\text{cm}^2$ である。

#### 【 0 0 3 5 】

さらに、 $R_o = \alpha (V - V_{\text{番目}})$  と想定する。 $\alpha = (\text{約}) 1 \times 10^{-3} \text{ \AA/V}$  であり、 $\Delta = \beta / (V - V_{\text{番目}})$  であり、 $\beta = (\text{約}) 1.4 \times 10^{11}$  イオン数/ $\text{cm}^2$ である。これら1次関係は加速電圧  $V$  が  $V_{\text{番目}}$  よりも大きい、図抜けて大きいことはないこと、すなわち、 $V$  は  $V_{\text{番目}}$  よりも大きく、約  $100 \text{ kV}$  よりも小さいことを想定している。 $V$  が  $V_{\text{番目}}$  に接近すると、残留粗度 ( $R_o$ ) と平滑速度 ( $1/\Delta$ ) 及びエッチング速度 ( $d/t$ ) はゼロに接近する。これは本願発明の適応 G C I B の主要な動機付けである。この例はクラスタビームに混合ガスを適用することにまで応用される。特に、純粋アルゴンガスがアルゴンと酸素ガスの混合ガス (80 : 20) で置換される場合にまで応用される。このため、銅箔のエッチング処理は3倍に加速する。よって、 $Y_m = 3 Y$ 、 $\Delta_m = \Delta / 3$  となるが、漸近粗度 (長時間の露出後) は2倍になり、 $R_{om} = 2 R_o$  となる。 $Y$ 、 $\Delta$ 、 $R_o$  は前記のように計算された純粋アルゴンガスの値である。

#### 【 0 0 3 6 】

薄膜表面を平滑化してエッチング処理する適応 G C I B 処理の可能な手順は以下に記載する装置操作パラメータによって解説されている。本例の対象物体は当初表面粗度  $R_i = 100 \text{ \AA}$  を有する銅箔で成り、表1に示される種々なパラメータと数値に従って G C I B に対応する。この銅フィルムは4段階の G C I B 露出工程で処理される。それぞれの段階でフィルム粗度が減少し、所定の厚みが表面からエッチング除去される。4セットの操作条件とフィルム粗度及びエッチング深度は以下の表2において提供されている。

#### 【 0 0 3 7 】

ステップ1はガス混合物と高加速電圧での侵略的なエッチング処理と、続く現場での表面粗度の再測定 (レーザー光スキャニング利用) とを含んでいる。ステップ2はその高電圧での純粋アルゴンエッチング処理を含んでおり、ステップ3は電圧を低下させることを含んでおり、ステップ4は純粋アルゴンでのしきい値エネルギーのものより少々高い加速電圧でのエッチング処理を含んでいる。

【 0 0 3 8 】

それぞれの場合の現場測定  $R_a$  は各ステップでの G C I B 露出後に達成され、次の露出ステップの予期される効果を計算する基礎として使用される。この例では、装置は全てのステップの一定クラスティオンビーム電流 ( J ) で操作される。よって、露出時間 ( t ) は各ステップに対して示される適用照射量 ( D ) から計算できる。

表 1 適応 G C I B プロセスの例示パラメータ

パラメータ	記号	数 値
膜密度	$\rho_a$	$8.5 \times 10^{22}$ 原子数 / $\text{cm}^3$
当初粗度	R i	1 0 0 Å
しきい値エネルギー	V 番目	6 0 0 0 V

表 2 適応プロセス時の膜内の操作条件と段階的变化

操作	当初	ステップ' 1	ステップ' 2	ステップ' 3	ステップ' 4
クラスティオンビーム 形成ガス	-	Ar+O <sub>2</sub>	Ar	Ar	Ar
加速電圧 V	-	30 kV	30 kV	20 kV	10 kV
スパッタ産量 Y	-	300	100	60	17
照射量特性 Δ (イオン数 / $\text{cm}^2$ )	-	$2 \times 10^{15}$	$6 \times 10^{14}$	$1 \times 10^{15}$	$3.5 \times 10^{15}$
照射量 D	-	$1 \times 10^{14}$	$5 \times 10^{14}$	$1 \times 10^{15}$	$5 \times 10^{15}$
本ステップ (イオン数 / $\text{cm}^2$ )					
漸近値 $R_a$ (Å)	-	50	25	15	5
計算プロセス $R_a$ (Å)	-	80	47	27	10
現場測定 $R_a$ (Å)	100	75	-	-	11
エッチング深度 d					
本ステップ (Å)	0	36	59	69	100
エッチング深度	0	36	95	164	264

## 堆積 (A)

この適応プロセスの利点を説明するためにこれら4ステップの利点を説明する。これら4ステップのうちでステップ4のみが表2に示す最終粗度Raに到達することができる。もし1プロセスのみが比較として使用されるなら、照射量を除いて操作条件はステップ4のものであり、多量の照射量  $9.7 \times 10^{14}$  イオン数/cm<sup>2</sup>が必要となろう。この1プロセス照射量は表2に示される4ステッププロセスのものの1.5倍である。もしGCIB装置が本例の全てのプロセスに対してクラスタイオンビーム電流  $J = 10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  で作動すれば、適応プロセスは全露出時間106秒を必要とし、前記の1プロセスの露出時間は155秒となる。よって、本願発明の適応プロセスの利点が理解されよう。

## 【0039】

エッチングしきい値の重要性の例として次の条件を提示する。高弾性条件で対象表面に照射されるクラスタビーム入射エネルギーにおいては弱い逆行不可現象のみが介在し、クラスタは表面をエッチング加工することなく弾性的に反射するであろう。別例では、大型クラスタはアルゴン等のガスを、極低温法等で予備冷却し、または、水素あるいはヘリウム等の軽ガスの高濃度ガスに混合することで形成される。この軽ガスはクラスタ衝突に先立って真空チャンバー内にてポンプ処理される。同じイオンクラスタ加速電圧では、発生する全ての単独チャージされたクラスタは同じ運動エネルギーを有するであろう。しかし、この例の大型クラスタは低運動量と低速度であり、構成原子あたりに低平均運動エネルギーを有するであろう。これらパラメータの組み合わせは標的表面との衝突の特性に影響を及ぼし、エッチングに影響を及ぼすであろう。

## 【0040】

比較的に高いクラスタインパクト速度（毎秒のクラスタ衝突回数）すなわちエッチング速度では、衝突、スパッタリング及びエッチングプロセスは非線形になり、低速度の場合よりも非線型になるであろう。その結果、高ビーム流でのエッチング（毎秒のイオン数、それぞれのイオンは本質的には1クラスタ）は非線形的に増加する。本願発明によれば、高エッチング速度は対象物の表面を迅速に滑らかにするためのエッチングの当初段階では有用であるが、表面の最終残留粗度

は、ビーム電流がエッチングプロセスの最終段階に向かってエッチングメカニズムがさらに線形となるところまで減少するならば好ましい影響を受けるであろう。

#### 【 0 0 4 1 】

物理的に高密度の微小物体であるクラスタは熱力学作用状態であり、液体あるいは多様な状態の固体であり、ある温度を有している。真空チャンバを通じたノズル装置内での形成から標的表面との衝突に至るまでにクラスタは周囲の真空と熱力学的に均衡するように材料の一部を蒸発させるであろう。この蒸発は気化熱を奪い、クラスタ温度を低下させる。

#### 【 0 0 4 2 】

例としてのアルゴンにおいては固化温度は液化温度よりほんの少々低いだけである。よって、大抵の条件下ではアルゴンクラスタは固体状態で標的表面に衝突する。固体の粘性流及び弾性特性は分裂強度を含んで、結合強度、結晶物体の存在並びに結晶欠陥性または多結晶性及び温度等の多くのパラメータに影響を受ける。液体及び固体アルゴンはファン・デル・ワールス力によって結合される。ファン・デル・ワールス力は非常に弱い引力と非常に強力な反発力を特徴とする。

#### 【 0 0 4 3 】

しきい値をさほど超えない加速に対しては、極低温ガスクラスタビームの衝突のエッチング効果は、ほぼ溶解した（軟弱）固体クラスタまたは液体状態のクラスタより大きいであろう。このことは水ジェット流と較べて氷結晶ジェット流の標的表面に対する大幅に向上した磨耗と侵食の効果により証明される。しかし、氷は固体アルゴンよりもずっと強力に結合している。一般的に G C I B 平滑プロセスは、異なる状態と温度でクラスタを創出できる装置並びに、それらの特徴を利用し、平滑処理の実用的適用を改善させる方法とによって補強される。

#### 【 0 0 4 4 】

真空ベースの、イオンビームでの乾燥エッチングは、例えばシリコンの大型ウェハー上でのバッチ処理による微小電子回路製造に特に適している。この場合にはエッチング対象の表面も平坦にされなければならない。フィルムの場合には薄くされて表面が平坦化されなければならない。G C I B の使用はこのような適用

に特に好適である。なぜなら、G C I Bは従来のイオンエッチング法に勝る利点を具えているからである。イオンエッチングの全ての方法において、対象表面のそれぞれの構成物質は他の構成物質とは異なる独自のエッチング速度を有している。

【 0 0 4 5 】

例えば、対象表面はV L S I用の回路配線用として、またはハードディスクメモリヘッドの鉄磁石センサー用としてリトグラフ模様の金属フィルムを含んでいよう。それらはケイ素-酸化物またはアルミニウム-酸化物化合物のごとき誘電フィルム材料によって模様に沿って分離されている。これら2成分で成る表面、すなわち金属と酸化物フィルムをそれらの高さや厚みに差を設けないようにしながら薄くエッチングすることが望まれる。または、もし両者の高さの相違が既に存在するなら、そのそれらの差を減少させるか排除することが望まれる。すなわち表面を平坦化することが望まれる。エッチング速度のコントロールによって平滑化エッチング処理を改善させることが可能であるが、この利点を実用化するにはエッチング装置をそれぞれの物質とプロセスの段階とに対して適応させることが不可欠であろう。

【 0 0 4 6 】

どのような2種類の物質に対するエッチング速度も一般的にそれらの物理的及び化学的エッチングまたはスパッタリング速度に影響を受ける。それらの速度はそのプロセスに使用するイオンの構成とエネルギー定理に影響を受ける。例えば、不活性ガスとしてのアルゴンは物理的手段でのみエッチング加工を行うが、酸化可能な金属面に照射される酸化イオンはイオンエネルギー及び他のパラメータによっては物理的及び化学的にエッチング加工することができる。高エネルギーにおいては全てのイオンは物理的スパッタリングが主であるが、しきい値エネルギーを超えたばかりのところでは化学効果が主である。イオンによる表面の乾燥化学エッチングの様々な方法は反応イオンエッチング ( R I E : reactive-ion etching ) と呼称されることが多い。ハロゲンとハロゲンを含んだ気体相の化合物も、対象物体によっては選択的に高いエッチング速度を提供することが知られている。

## 【 0 0 4 7 】

ガラスタイオンビームは通常のモノマーイオンビームと同様に物理的及び化学的手段によるエッチング特性を有している。本願発明はG C I B平滑化プロセスの追加的な結果として2成分表面の平滑化をも改善する。クラスタ自体は、例えば数%の酸素または塩素とのアルゴンの混合ガス溶媒化合された組成物内で形成できる。もしノズルに供給されたガス源がアルゴンと酸素（酸素が20%以上）で成るなら、これらガスはそれぞれクラスタを形成するが、それらクラスタ一内では主として1タイプガスのみとなる。

## 【 0 0 4 8 】

溶媒化合混合クラスタまたは異なるクラスタの混合によるG C I Bは2成分表面に対して利用が可能であり、適当な条件下ではそれら2成分表面を平坦で非常に滑らかにする。さらに、純粋アルゴンでのG C I Bは対象表面近辺で酸素または塩素のごとき化学反応性ガスの小気流を注入することで化学的に効果を増大させることができる。このことは、例えば化合物-半導体レーザーダイオード上の結晶面鏡に使用される化学増強イオンビームエッチング法（C A I B E :chemically-assisted ion-beam etching）の改善である。

## 【 0 0 4 9 】

この装置の最良プロセスと調整は、表面平滑化プロセスが進行しているときに装置のビームパラメータを変更することで可能であり、さらに、標的表面の残留粗度とエッチング深度のリアルタイム計測でさらに性能を高めることができる。よって本願発明においては、イオンビーム処理中に標的物体面の粗度とエッチング深度に関する直接的でリアルタイムの情報を提供する機器すなわち現場モニター機器を利用することが望ましい。

## 【 0 0 5 0 】

さらに、処理プロセス中にイオンビームの特徴を変更する装置は平滑化プロセスの実行中にそのプロセスを適応させるのが必須である。加えて、現場プロセスモニターにより提供される情報に基づいて決定アルゴリズムを適用させ、イオンビーム形成装置の電気機械アクチュエータに指示を提供できる自動計算メカニズムが閉鎖ループプロセス制御を提供し、好適な適応平滑処理を可能にするであ



ろう。これらの特徴は図1の装置100に関して本文中にて説明されている。

【 0 0 5 1 】

表面処理には様々な方法と装置が利用可能である。これらの多くは真空チャンバ内での対象物体の現場プロセスモニターに適していることが証明されている。光学技術は特に適している。光の波長は真空チャンバ内でガスを通じて効率的に拡散するように選択されなければならない。また、各プロセスでモニターされる表面特性の測定に最適なものでなければならない。例えば、レーザービームの斜角入射は対象表面で反射し、斑点模様を発生させる。すなわち、数波長分から波長の一部までの長さで表面の粗度に対して感度が高い浅角拡散現象を励起する。もし、入射光ビームが極性化され、反射ビームの極性が分析されれば、表面粗度はパラメータ $\Psi$ と $\Delta$ で表される。電子ビーム機器も適しており、反射高エネルギー電子回折 (R H E E D : reflection high-energy electron diffraction) は表面結晶性の特徴付けのために幅広い用途があり、表面粗度の判定においても利用性が高い。X線ビームも有効利用が可能である。

【 0 0 5 2 】

クラスタビーム加速器は真空チャンバ内の電極間の高電位差 (電圧) で作動する。このポテンシャルは真空チャンバ外部の電源により提供される。低レベルリレーポテンシャル (relay potential) により加速ポテンシャル (電圧) 強度を制御する手段を提供する電源は特に好ましい。このリレーポテンシャルは遠隔的に供給され、G C I B 装置のオペレータにより調整され、あるいは好適にはデジタル計算装置の直接的なアナログ出力によって調整される。電気機械ガス流バルブ、ガス圧レギュレータ及び熱交換器を有した極低温冷却装置を利用してクラスタサイズも同様に制御と調整が可能である。最初の2手段はクラスタ形成用の主要ガス源 (アルゴン等) の調整と第2の軽ガスの混合に利用され、ノズル内でのクラスタ作用の増強に使用される。

【 0 0 5 3 】

極低温冷却システムは典型的には熱交換器を活用したクラスタガス源 (アルゴン等) に作用する液体窒素等の極低温流体 (アルゴン液化温度) のコントロールを利用する。ガスの冷却は制御されなければならない。なぜなら、ノズル内での

そのガスの凝縮熱力学現象はガスが液化温度に接近するように予備冷却されると急激に変化するからである。しばしば電子温度レギュレータが採用される。さらに迅速な反応と温度調整条件の微調整を行うには熱交換器領域に電気加熱要素を提供することが好ましい。レギュレータの温度セットポイントは電子的に制御して適応制御電子機器に採用することが最良であり、クラスタサイズをエッチング処理工程中に好適に適応させることができる。

【 0 0 5 4 】

本願発明はいくつかの実施例を利用して説明されているが、本願発明の範囲内でそれらの多様な変更は可能であろう。

【図面の簡単な説明】

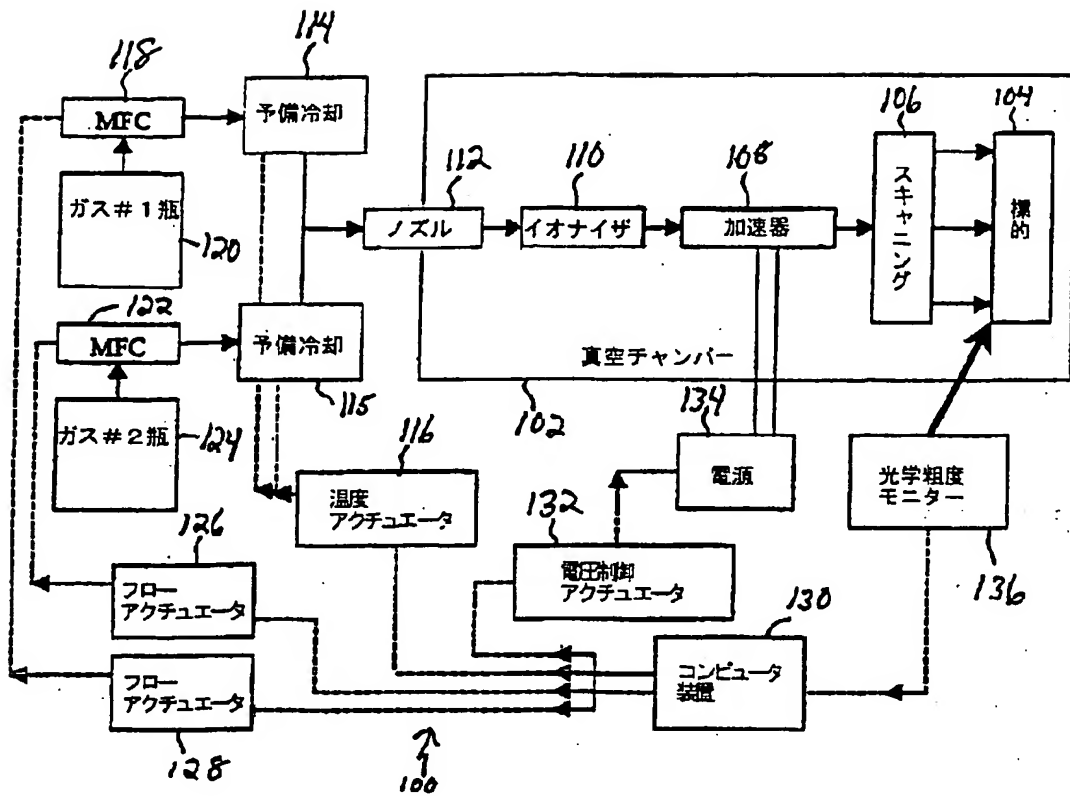
【図 1】 図 1 は本願発明の適応クラスタービーム平滑化装置の概略ブロック図である。

【図 2】 図 2 は加速電圧 ( $V$  番目  $< V1 < V2$ ) に対するクラスタービームの概略エッチング速度 (実線) を示す従来グラフである。

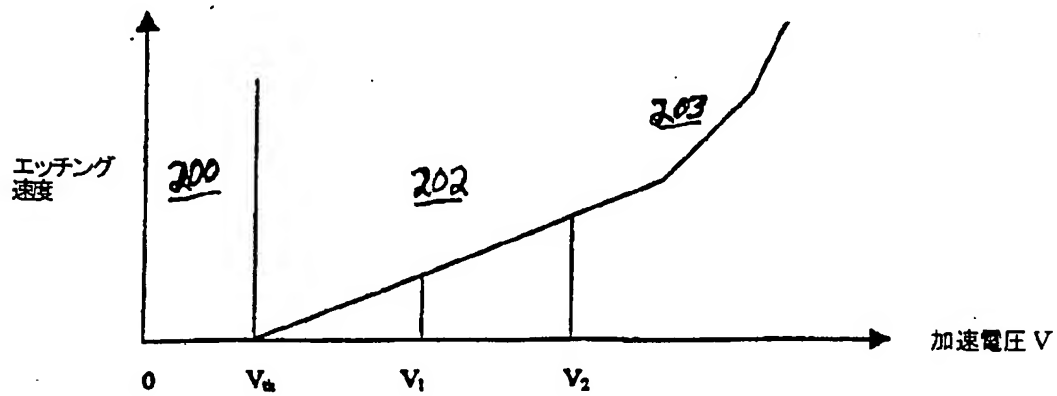
【図 3】 図 3 は定加速電圧でのクラスタービームのクラスター照射量に対する漸減粗度を示す従来グラフである。

【図 4】 図 4 は本願発明の適応 G C I B 法によるクラスタービームのクラスター照射量に対する漸減粗度を示すグラフである。

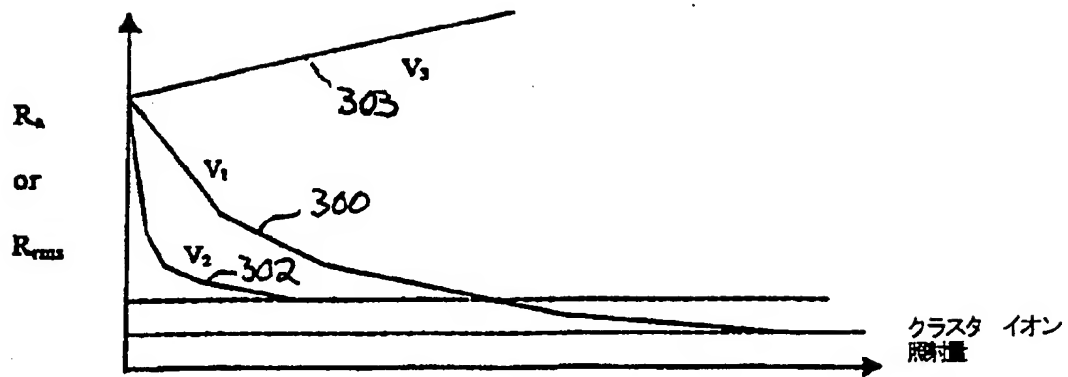
【 図 1 】



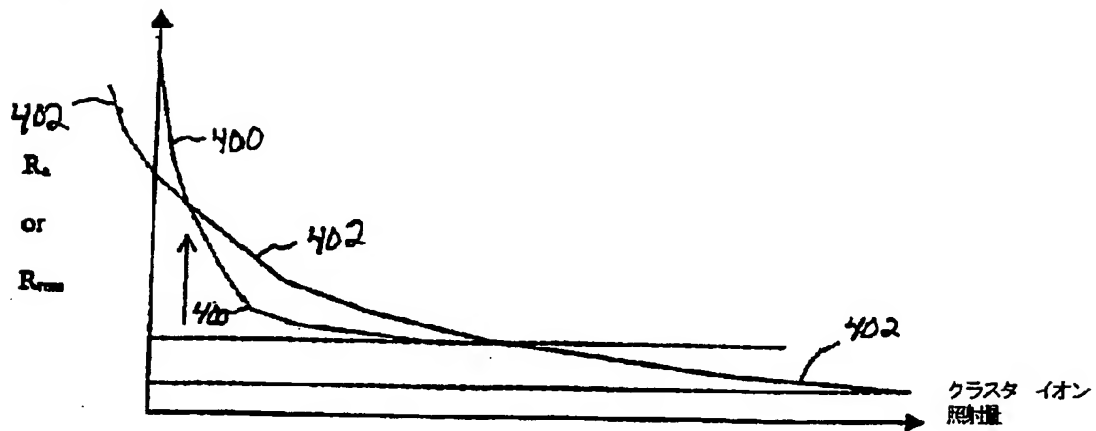
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



【手続補正書】

【提出日】平成14年4月3日(2002.4.3)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 適応性ガスクラスタイオンビームを活用した対象物体表面処理方法であって、

ガスクラスタイオンビームを形成するステップと、

当初処理速度を有した該ガスクラスタイオンビームを前記対象物体表面に照射させるステップと、

前記当初処理速度よりも遅い少なくとも1種の他の処理速度を有するように前記ガスクラスタイオンビームを適応処理するステップと、  
を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項2】 対象物体表面の処理は該表面の汚染物除去処理、平滑化またはエッチング処理ステップを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】 適応処理ステップはガスクラスタイオンビームのイオン加速ポテンシャルの調整ステップを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項4】 適応処理ステップはガスクラスタイオンビームのビーム電流またはビーム電流密度の調整ステップを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項5】 適応処理ステップはガスクラスタイオンビームの複数のイオン化クラスタの構成割合の調整ステップを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項6】 適応処理ステップはガスクラスタイオンビームのクラスタの平均チャージ状況の調整ステップを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項7】 適応処理ステップはガスクラスタイオンビームのクラスタサイズ分布を変更させるためのガス源圧力または温度の調整ステップを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項8】 適応処理ステップはガスクラスタイオンビームのガス源組成の調整ステップを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項9】 ガス源構成物質は、アルゴン、酸素、窒素、六弗化硫黄、ハロゲン、ハロゲン含有化合物、酸化窒素及び二酸化炭素並びにそれらの選択的混合物及び水素またはヘリウムとの混合物で成る群から選択されることを特徴とする請求項8記載の方法。

【請求項10】 ガスクラスタイオンビームはアルゴンガスで形成され、500個から5000個の基本原子数を有した幅広いクラスタサイズ分布を有していることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項11】 ガスクラスタイオンビームは15000V以上の当初加速電圧で形成されることを特徴とする請求項10記載の方法。

【請求項12】 適応ステップは当初加速電圧を少なくとも1種の他の加速電圧に低下させることを特徴とする請求項11記載の方法。

【請求項13】 少なくとも1種の他の加速電圧は約5000V以上であることを特徴とする請求項12記載の方法。

【請求項14】 当初加速電圧は約30000Vから約50000Vであり、少なくとも1種の他の加速電圧は約5000Vから約7000Vであることを特徴とする請求項12記載の方法。

【請求項15】 ガスクラスタイオンビームは、所定のエッチングしきい値の約半分から該しきい値までの当初加速電圧で形成され、イオンビーム照射ステップは対象物体表面から汚染物質を除去するのに十分な時間にて実行されることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項16】 適応ステップは、所定のエッチングしきい値以上であって15000V以上である少なくとも1種の他の加速電圧に当初加速電圧を調整し、次に約5000V以上の加速電圧に低下させるするステップを含んでいることを特徴とする請求項15記載の方法。

【請求項17】 ガスクラスタイオンビームはアルゴンガスで形成され、約7000Vから約30000Vの固定電圧で加速され、100個から1000個の基本原子数の幅広いクラスタサイズ分布を有していることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項18】 適応ステップはクラスタサイズ分布を5000個から50000個の基本原子数に増加させるステップを含んでいることを特徴とする請求項17記載の方法。

【請求項19】 ガスクラスタイオンビームはアルゴンガスで形成されており、500個から5000個の基本原子数のクラスタサイズ分布を有しており、 $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以上の当初ビーム電流密度を有していることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項20】 適応ステップは当初ビーム電流密度を $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下の少なくとも1種の他のビーム電流密度に低下させるステップを含んでいることを特徴とする請求項19記載の方法。

【請求項21】 ガスクラスタイオンビームは当初はガス源の凍結点と比較して相対的に低い温度のクラスタを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項22】 適応ステップはクラスタをガス源の凝縮液化温度よりも高温に熱するステップを含んでいることを特徴とする請求項21記載の方法。

【請求項23】 ガスクラスタイオンビームは追加ガスと混合された状態のアルゴンガスを使用して形成され、該追加ガスは、酸素、ハロゲン及びハロゲンを含有した化合物で成る群から選択され、複数の構成物質の領域を含んだ対象物体の表面でほぼ均等なエッチング速度を提供することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項24】 適応ステップは処理の最中にガス混合物内の追加ガスの含有割合を低下させるステップを含んでおり、対象物体表面を平坦で平滑にすることを特徴とする請求項23記載の方法。

【請求項25】 適応ステップは、ガス源組成、ガス源温度、ガスクラスタサイズ、ガスクラスタチャージ状況、ビーム加速ポテンシャル、イオンビーム電流

及びイオンビーム電流密度で成る群から選択されるパラメータを調整するステップを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項26】 対象物体表面に関する情報を提供するために処理最中に該対象物体表面をモニターするステップをさらに含んでおり、該モニターステップをビーム照射ステップ後であって適応ステップ前に実行することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項27】 情報とは表面粗度、表面平滑度、エッチング深度または表面汚染に関する情報であることを特徴とする請求項26記載の方法。

【請求項28】 適応ステップはモニターステップの最中に提供される情報に基づいて自動的に実行されることを特徴とする請求項26記載の方法。

【請求項29】 モニターステップと適応ステップとは少なくとも1回反復されることを特徴とする請求項26記載の方法。

【請求項30】 モニターステップは光学粗度モニター手段によって達成されることを特徴とする請求項26記載の方法。

【請求項31】 適応性ガスクラスタイオンビームを活用して対象物体表面を処理する装置であって、

ガスクラスタイオンビーム形成手段と、

該ガスクラスタイオンビーム形成手段にガスを供給して制御するガス供給制御手段と、

前記ガスクラスタイオンビーム形成手段に接続された少なくとも1体の電源と、

前記ガスクラスタイオンビーム形成手段、前記ガス供給制御手段及び前記電源を制御する制御手段であって、当初エッチング速度を有したガスクラスタイオンビームを形成する手段と、

を含んで成り、前記当初エッチング速度は該当初エッチング速度よりも遅い少なくとも1種の他のエッチング速度に移行されることを特徴とする装置。

【請求項32】 制御手段は当初エッチング速度から他のエッチング速度への移行を制御するために所定のビーム照射スケジュールを実行する実行手段及び/又はそのエッチング速度または対象物体表面の表面粗度をモニターして前記移行



を開始させるモニター手段をさらに含んでいることを特徴とする請求項31記載の装置。

【請求項33】 制御手段はビーム加速電圧及び/又はビーム電流を変更させるように電源を制御することで当初エッチング速度から他のエッチング速度への移行を制御することを特徴とする請求項32記載の装置。

【請求項34】 制御手段はガスクラスタイオンビームを形成させる電圧及び/又は電流を変更させるように電源を制御することで当初エッチング速度から他のエッチング速度への移行を制御することを特徴とする請求項32記載の装置。

【請求項35】 制御手段はビーム加速電圧及び/又はビーム電流、ガス温度及び混合ガス構成成分割合及び/又はガスの組成を選択的に変更させるように電源、温度制御手段またはガス供給手段を選択的に制御することで当初エッチング速度から他のエッチング速度への移行を制御することを特徴とする請求項34記載の装置。

【請求項36】 ガスクラスタイオンビーム形成手段に供給されるガスの温度制御手段をさらに含んでおり、制御手段はガスの温度を変更するために前記ガス温度制御手段を制御することで当初エッチング速度から他のエッチング速度への移行を制御することを特徴とする請求項32記載の装置。

【請求項37】 制御手段はガスの構成成分割合及び/又は組成を変更するためにガス供給手段を制御することで当初エッチング速度から他のエッチング速度への移行を制御することを特徴とする請求項37記載の装置。

【請求項38】 対象物体は複数の構成物領域を含んでおり、制御手段はガス供給手段を制御してガスの構成成分割合及び/又は組成を変更させ、前記構成物領域のエッチング速度の相違を最小に維持して対象物体表面を平坦で平滑にすることを特徴とする請求項32記載の装置。

【請求項39】 対象物体表面はエッチング処理に先立って当初に汚染物除去処理されることを特徴とする請求項31記載の装置。

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

**1**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Patent Application No.  
PCT/US 00/19249

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>YAMADA I ET AL: "SURFACE PROCESSING BY GAS CLUSTER ION BEAMS AT THE ATOMIC (MOLECULAR) LEVEL" JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY: PART A, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. A14, June 1996 (1996-06), pages 781-785, XP000955158 ISSN: 0734-2101 cited in the application the whole document</p>	1,25

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/US 00/19249

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0551117 A	14-07-1993	JP 5179433 A	20-07-1993
		JP 5195210 A	03-08-1993
		JP 5267473 A	15-10-1993
		JP 5339712 A	21-12-1993
		JP 6077337 A	18-03-1994
		KR 126457 B	26-12-1997
		US 5561326 A	01-10-1996
EP 0516480 A	02-12-1992	JP 2662321 B	08-10-1997
		JP 4354865 A	09-12-1992
		US 5459326 A	17-10-1995

---

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY,  
DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, I  
T, LU, MC, NL, PT, SE), JP

Fターム(参考) 4K057 DA01 DA04 DD04 DE01 DE06  
DE14 DE20 DG13 DG14 DG15  
DG17 DG20 DN01 WB01 WB06

5C034 BB09

5F004 AA11 AA14 BA11 BA17 CA01  
CA02 CA03 CB09 DA04 DA23  
DA26 DA30

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**